

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19)日本国特許庁(J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-157701

(43)公開日 平成5年(1993)6月25日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

G 0 1 N 21/88

G 0 2 B 27/00

H 0 1 L 21/66

識別記号

E 2107-2J

Z 2107-2J

H 9120-2K

N 8406-4M

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 有 請求項の数26(全 20 頁)

(21)出願番号 特願平4-24852

(22)出願日 平成4年(1992)1月14日

(31)優先権主張番号 07/667773

(32)優先日 1991年3月11日

(33)優先権主張国 米国(US)

(71)出願人 390009531

インターナショナル・ビジネス・マシーンズ・コーポレーション

INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION

アメリカ合衆国10504、ニューヨーク州アーモンク (番地なし)

(72)発明者 ジョン・サミュエル・バットチエルダー  
アメリカ合衆国、ニューヨーク州10589、ソマーズ、キャンパベル・ドライブ 番地なし

(74)代理人 弁理士 頼宮 孝一 (外2名)

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光学的内部検査援助装置及びその方法

(57)【要約】

【目的】本発明は比較的高い屈折率を有する対象物の内部の特性を判別するために顕微鏡を用いる装置及びその方法を提案する。

【構成】半導体ウエハ110の内部特徴を赤外線に近いものにより高い解像度の光学的結像作用を実行する装置及び方法は高い屈折率を有する材料から構成される光学装置を用い、当該ウエハ110の極めて近くに保持される。当該光学装置はプリズム又は平凸レンズ130である。平凸レンズ130はウエハ110とコンタクトを維持するか又はサンプルが当該レンズの下方に操作できるように支持手段又は光学結合流体を介してウエハ110から分離される。当該レンズは、明視野顕微鏡、シユリーレン顕微鏡、暗視野顕微鏡、リンニツク干涉計、ラマン分光計及び吸収分光器のような多数の光学装置に用いられる。

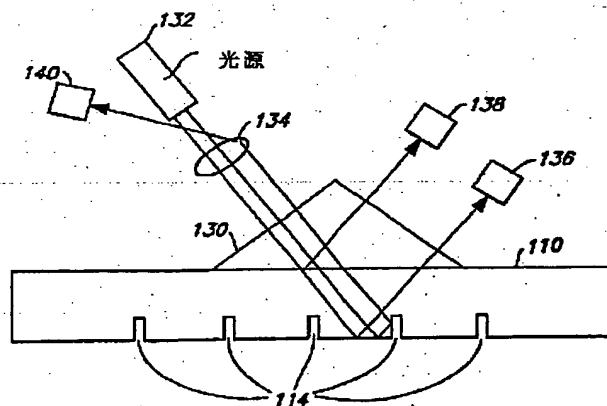


図1 本発明による計測装置

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 平滑な表面を有しかつ単位屈折率以上の屈折率を有する対象物の内部検査において、検査される対象物の屈折率とほぼ等しい屈折率を有しかつ対象物の平滑な表面に整合するように作られた面を有する材料から構成される光学装置と、平滑な表面に対して定義された臨界角以上の入射角度を有する対象物内部からの光線が上記光学装置内に伝播できるように上記光学装置を上記対象物の平滑な表面に結合する光学装置に結合した光学結合手段とを具えることを特徴とする光学的内部検査援助装置。

【請求項2】 上記光学装置はプリズムであることを特徴とする請求項1に記載の光学的内部検査援助装置。

【請求項3】 上記光学装置は平凸レンズであることを特徴とする請求項1に記載の光学的内部検査援助装置。

【請求項4】 上記光学結合手段は対象物及び光学装置の屈折率とほぼ等しかつ対象物を容易に変形できるような屈折率を有する固体材料を含むことを特徴とする請求項1に記載の光学的内部検査援助装置。

【請求項5】 上記光学結合手段は少なくとも1つの対象物及び上記光学装置の屈折率とはかなり異なる屈折率を有する光学結合材料を含み、上記対象物から上記光学装置に伝播する光の少なくとも一部分が減衰光波であることを特徴とする請求項1に記載の光学的内部検査援助装置。

【請求項6】 上記光学結合手段は、光が上記対象物から上記光学装置に減衰光波として伝播することができるように上記光学装置を上記対象物の平滑な表面に十分密接に配設する空気支持手段を含むことを特徴とする請求項1に記載の光学的内部検査援助装置。

【請求項7】 上記光学装置は調整できる焦点距離を有するレンズシステムを含み、上記レンズシステムは、上記光学結合手段に結合した平凸レンズと、上記光学装置の焦点距離を変更する上記平凸レンズを調整できるように構成されたレンズ手段とを含むことを特徴とする請求項1に記載の光学的内部検査援助装置。

【請求項8】 半導体ウエハの内部検査援助装置において、上記半導体ウエハは表面及び裏面を有しかつ予め決まった周波数帯域における光に対して単位屈折率以上の屈折率を有し、上記内部検査装置は、半導体ウエハの屈折率とほぼ等しい屈折率を有しかつフラットな面を有する材料から構成される光学装置と、半導体ウエハの裏面に対して定義された臨界角以上の入射角度を有する対象物内部からの光線が上記光学装置内に伝播できるように上記光学装置のフラット面を上記半導体ウエハの裏面に結合する光学結合手段とを具えることを特徴とする光学的内部検査援助装置。

【請求項9】 上記光学装置はプリズムであることを特徴とする請求項8に記載の光学的内部検査援助装置。

【請求項10】 上記光学装置は平凸レンズであることを

特徴とする請求項8に記載の光学的内部検査援助装置。

【請求項11】 上記光学結合手段は上記対象物及び上記光学装置の屈折率とほぼ等しい屈折率を有する容易に変形できる固体材料を含むことを特徴とする請求項8に記載の光学的内部検査援助装置。

【請求項12】 上記光学結合手段は少なくとも1つの対象物及び光学装置の屈折率とはかなり異なる屈折率を有する光学結合材料を含み、上記対象物から光学装置に伝播する光の少なくとも一部分が減衰光波であることを特徴とする請求項8に記載の光学的内部検査援助装置。

【請求項13】 上記光学結合手段は光が減衰光波として上記対象物から上記光学装置に伝播することができるように上記光学装置を平滑な対象物の表面に十分密接に配設する空気支持手段を含むことを特徴とする請求項8に記載の光学的内部検査援助装置。

【請求項14】 上記光学装置は調整できる焦点距離を有するレンズシステムであり、上記レンズシステムは光学結合手段に結合した平凸レンズと、上記光学装置の焦点距離を変更する平凸レンズを調整できるように構成されたレンズ手段とを含むことを特徴とする請求項8に記載の光学的内部検査援助装置。

【請求項15】 特徴をもつ表面及びほとんど特徴をもたない裏面を有しかつ単位屈折率以上の屈折率を有する半導体ウエハを検査する際に有用な高い開口数をもつ顕微鏡において、上記顕微鏡は、半導体ウエハの屈折率とほぼ等しい屈折率を有する平凸レンズと、上記平凸レンズを上記半導体ウエハの裏面に光学的に結合する手段と、光エネルギーをウエハの裏側から供給し、当該供給された光エネルギーの一部分をウエハの表面上の特徴によって反射させる照射手段と、上記反射した光に応動して、上記平凸レンズを介して上記ウエハの表面上に上記特徴をもつ像を形成する結像手段とを具えることを特徴とする高開口数顕微鏡。

【請求項16】 上記照射手段は上記平凸レンズを介して半導体ウエハを照射するように構成された点光源を含む照射機能を有し、上記結像手段は、上記ウエハの表面上の上記特徴から反射した光の焦点が合った像を形成する手段と、点光源の反射像に対応する光だけを光検出器に通す手段とを含み、

上記顕微鏡はさらに、光検出器の出力部において信号を増大させるようにウエハに対して顕微鏡を操作し、上記ウエハ表面の少なくとも一部分の走査された像を表示する走査手段を含むことを特徴とする請求項15に記載の高開口数顕微鏡。

【請求項17】 上記平凸レンズ及び上記結像手段は上記顕微鏡の結像機能を有し、

上記照射手段は、

予め決められた透過ひとみ機能に従って光を上記レンズを介して上記ウエハの裏面に供給する手段と、

上記透過ひとみ機能の構成部分を除外することによつて上記透過ひとみ機能を修正するように構成された第1の空間フィルタと、

を含み、

上記結像手段は受像ひとみ機能に対応する像成分を除外するように構成された第2の空間フィルタを含むことを特徴とする請求項15に記載の高開口顕微鏡。

【請求項18】特徴をもつ表面及びほとんど特徴をもたない裏面を有しかつ単位屈折率以上の屈折率を有する半導体ウエハを検査する際に有用な高い開口数をもつ顕微鏡において、上記顕微鏡は、

上記半導体ウエハの屈折率とほぼ等しい屈折率を有する平凸レンズと、

上記平凸レンズを上記半導体ウエハの裏面に光学的に結合する手段と、

光エネルギーを上記平凸レンズを介して上記ウエハに供給し、上記供給された光エネルギーのほとんどすべてを上記半導体ウエハに完全に内部に反射する照射手段と、上記半導体ウエハの表面の外側に配設され、上記半導体ウエハの表面上の上記特徴によつて光エネルギーを伝播するように変換された光エネルギーに応動して、上記半導体ウエハの表面上に上記特徴をもつ暗視野像を発生する結像手段とを具えることを特徴とする高開口顕微鏡。

【請求項19】特徴をもつ表面及びほとんど特徴をもたない裏面を有しかつ単位屈折率以上の屈折率を有するサンプル半導体ウエハを検査する際に有用な干渉計において、上記干渉計は、

ほとんど特徴をもたない表面及び裏面を有する基準半導体ウエハと、

上記半導体ウエハの屈折率とほぼ等しい屈折率を有する第1及び第2の平凸レンズと、

上記第1の平凸レンズを上記サンプル半導体ウエハの裏面に光学的に結合する手段と、

上記第2の平凸レンズを上記基準半導体ウエハの裏面に光学的に結合する手段と、

実質的にコヒーレントで単色の光エネルギーを発生する照射手段と、

上記照射手段によつて発生された光エネルギーを受けるように構成され、上記第1の平凸レンズを介して光エネルギーの第1部分をサンプルウエハに供給しかつ上記第2の平凸レンズを介して光エネルギーの第2部分を基準ウエハに適用するビームスプリッタ手段と、

上記サンプル半導体ウエハから反射した光を上記基準半導体ウエハから反射した光と結合することにより、上記サンプル半導体ウエハの表面上に上記特徴を表す干渉パターンを生成する結像手段とを具えることを特徴とする干渉計。

【請求項20】上記ビームスプリッタ手段は、制御信号に応動して受けた光エネルギーの第1部分を上記第1の平凸レンズを介して上記サンプルウエハ上に偏向すると共に、偏向しない上記第2部分を上記第2の平凸レンズを介して上記基準ウエハに通過させる音響光学セルを含み、

上記干渉計はさらに、上記制御信号をそれぞれ異なる周波数で発生することにより上記受けた光エネルギーの第1部分を上記第1の平凸レンズを介して上記サンプルウエハ上のそれぞれ異なる位置に偏向する手段を含むことを特徴とする請求項19に記載の干渉計。

【請求項21】平坦な裏面を有しかつ単位屈折率以上の屈折率を有するサンプル半導体ウエハを検査する際に有用なラマン分光計において、上記ラマン分光計は、上記半導体ウエハの屈折率とほぼ等しい屈折率を有する平凸レンズと、

上記平凸レンズを上記サンプル半導体ウエハの裏面に光学的に結合する手段と、

ほぼコヒーレントで単色の光エネルギーを発生しかつ上記光エネルギーを平凸レンズに対して予め決められた入射角度及び予め決められた位置において上記半導体ウエハ内に結合し、上記半導体ウエハ内において鏡のように反射した光波に対してほぼ90°の角度で反射した光線が上記光学結合手段及び平凸レンズを介して結合される照射手段と、

平凸レンズによつて与えられた半導体ウエハ内の入射光波に対して90°に反射した光線を通過させると共に、上記平凸レンズによつて与えられた他の光線を上記平凸レンズによつて相対的に除外する空間フィルタリング手段と、

上記空間フィルタリング手段を通過した光線からラマンスペクトル写真を生成する分光計手段とを具えることを特徴とするラマン分光計。

【請求項22】平坦な裏面を有しかつ単位屈折率以上の屈折率を有するサンプル半導体ウエハを検査する際に有用な吸収分光計において、上記吸収分光計は、上記半導体ウエハの屈折率とほぼ等しい屈折率を有する平凸レンズと、

上記平凸レンズを上記半導体ウエハの裏面に光学的に結合する手段と、

ほぼ単色の光信号を発生しかつ実質上上記単色光信号の周波数以下の周波数である変調信号により上記単色光信号を変調しかつ上記光信号により上記半導体ウエハを照射する第1の照射手段と、

実質上単色でコヒーレントの他の光信号を発生する第2照射手段と、

上記他の光信号を上記平凸レンズを介して上記半導体ウエハ内に結合する手段と、

上記半導体ウエハ内の上記他の光信号の焦点を変更する手段と、

上記半導体ウエハ内の上記他の光信号の焦点において上記他の光信号の像を検出する結像手段と、

上記変調信号により変調を検出することによって上記第1の照射手段により与えられた光信号の吸収及び上記結像手段によって形成された像内の他の光信号の吸収を検出する手段とを具えることを特徴とする吸収分光計。

【請求項23】平坦な表面を有しかつ単位屈折率以上の屈折率を有する対象物の内部の像を現像する方法において、

(A) 平坦な表面及び対象物の平坦な表面に対する対象物の屈折率とほぼ等しい屈折率を有する光学装置を光学的に結合し、上記対象物の平坦な表面に対する入射角度が臨界角以上である対象物を上記光学装置を介して結合するステップと、

(B) 上記対象物を照射するステップと、

(C) 上記対象物の内部から伝播しかつ上記光学装置を介して伝播する光線を用いて上記対象物の内部の像を生成するステップと

を具えることを特徴とする像現像方法。

【請求項24】上記光学装置結合ステップ(A)は、上記対象物の屈折率とほぼ等しい屈折率を有する容易に変形できる固体材料を上記レンズの平坦な表面に適用するステップと、

上記対象物の平坦な表面に対して上記レンズの平坦な表面をプレスするステップとを具えることを特徴とする請求項23に記載の像現像方法。

【請求項25】上記光学装置結合ステップ(A)は、ギャップのある上記レンズ及び上記対象物間において、上記レンズの平坦な表面を上記対象物の平坦な表面に密接に近接するように配設するステップと、  
上記ギャップを上記対象物又は上記レンズの屈折率をかなり下回る屈折率を有する光学結合材料により充填するステップとを含み、

上記レンズ及び上記対象物間のギャップは上記対象物及び上記レンズ間を分離し、上記流体及び上記レンズ間の境界面に対して定義された入射角以上の入射角を光学結合流体内に有する光は挫折したすべての内部反射によって上記レンズ内に伝播することができることを特徴とする請求項23に記載の像現像方法。

【請求項26】上記平凸レンズは平坦な表面を有しかつ上記レンズの円周の周辺にダクトを有するベアリング組立体を含むことにより上記ダクトの入口を通じて供給された流体を上記ベアリング組立体の平坦な表面上に存在するダクトを介して上記組立体上に向けるようになされており、上記光学装置結合ステップ(A)は、上記ベアリング組立体の平坦な表面を上記対象物の平坦な表面に密接に近接するように配置するステップと、上記レンズ又は上記対象物の屈折率をかなり下回る屈折率を有する加圧流体を上記ダクト入口に供給するステップと、

圧力を上記レンズの曲面に与えることにより予め決められた上記対象物の平坦な表面の距離内に上記ベアリング組立体の平坦な表面を維持するようになされており、減衰光線が上記対象物及び上記レンズのベアリング組立体間の上記予め決められた距離を横切つて伝播することを特徴とする請求項23に記載の像現像方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は光学的内部検査援助装置及びその方法に関し、特に比較的高い屈折率を有する材料の特性を判別するために顕微鏡を用いる装置及び方法について、比較的大きい開口数を有しかつウエハとコンタクトし又はウエハと極めて密接にコンタクトするようなレンズを用いて半導体ウエハをその裏側から検査するための装置及び方法に適用して好適なものである。

【0002】

【従来の技術】集積回路が一段と多くの構成要素を含むように設計されるにつれて、個々の構成要素は一段と小さく設計される。しかしながら、ダイナミックランダムアクセスメモリ(DRAM)セルの記憶コンデンサのようないくつかの構成要素はその性能を低下させずに決められた最小限のサイズより小さくすることはできない。最近、集積回路上に配設されるこの型式のいくつかの構成要素がトレンチのような3次元構造の使用により増加してきている。

【0003】一般にこのトレンチは直径が1〔 $\mu\text{m}$ 〕又は2〔 $\mu\text{m}$ 〕、深さが6〔 $\mu\text{m}$ 〕ないし8〔 $\mu\text{m}$ 〕及びアスペクト比(直径に対する深さの比)が8対1である。近い将来、100対1に近いアスペクト比でかつ1〔 $\mu\text{m}$ 〕以下の直径を有する装置ができる可能性がある。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】この特性により比較的大多数のコンデンサが集積回路上に製造できることは望ましいことであるが、この特性のために強力な顕微鏡を用いてさえコンデンサの可視検査をすることがほとんどできない。これはシリコン及びガリウム・ヒ素化合物がトレンチ構造を分解するのに十分高い光学的周波数において極端に減衰させるからである。現在、この型式の構成要素を検査する主要な方法は走査電子顕微鏡を用いて側面から構成要素を観察するようにウエハを切ることである。この技術は時間を浪費しかつウエハを破壊する。従つて観察された構造の電子的特性を判別することが難しくなる。

【0005】シリコン及びガリウム・ヒ素化合物は1.2~15〔 $\mu\text{m}$ 〕の間の波長を有する赤外線放射に対して透明である。赤外線顕微鏡検査法を用いる裏側検査はフリップチップボンディングパッドの検査、ピコ秒の電圧の測定並びに種々の光熱及び光音響測定のために一定の手順により実行される。しかしながら、現在利用

されているすべての赤外線顕微鏡の開口数は0.5~0.8の間に制限される。これによりラテラル方向の分解能はサブミクロンのトレンチを分解するのに不十分な1.5~2.5 [ $\mu\text{m}$ ]になる。

【0006】米国特許第4625114号は挫折したすべての内部反射の使用により薄膜フィルムの厚さを判別するための技術に関するものである。薄膜フィルム（エピタキシャル層）を基板（半導体ウエハ）の頂部表面上に堆積させて密着してコンタクトする際に、半円柱レンズは赤外線放射を広角に亘って薄膜構造内に結合するために用いられる。当該装置は挫折したすべての内部反射が生ずるような単一角度を識別することによって層の厚さを判別する。この装置は像を形成せず当該基板の他の側面の特性には影響を受けない。

【0007】米国特許第4555767号はフーリエ変換IR干渉計を用いるエピタキシャルシリコンの均一層の厚さを測定する装置に関するものである。測定された分光反射率の値を理論上の反射率と相互に関係をもたせることによりエピタキシャル層の実際の厚さを判別する。

【0008】米国特許第4615620号は細かく刻みこまれたパターンの深さを測定するための装置に関するものである。1 [ $\mu\text{m}$ ]又は3 [ $\mu\text{m}$ ]の幅を有するピット及び2 [ $\mu\text{m}$ ]又は3 [ $\mu\text{m}$ ]の幅を有するピッチは300 [nm]から800 [nm]の波長に変化する光を用いて測定される。当該装置は変調波長の光により基板の頂部表面を照射する非コンタクトシステムである。当該測定は0次の波長の影響が除外される回折光線の密度の検出に基礎を置いている。

【0009】米国特許第3034398号はゲルマニウム又はシリコンから構成されるレンズ及びプリズムを用いるインライン型赤外線分光計に関するものである。

【0010】

【課題を解決するための手段】かかる課題を解決するために本発明においては、平滑な表面を有しかつ単位屈折率以上の屈折率を有する対象物の内部検査において、検査される対象物の屈折率とほぼ等しい屈折率を有しかつ対象物の平滑な表面に整合するように作られた面を有する材料から構成される光学装置と、平滑な表面に対して定義された臨界角以上の入射角度を有する対象物内部からの光線が光学装置内に伝播できるように光学装置を対象物の平滑な表面に結合する光学装置に結合した光学結合手段とを設けるようにする。

【0011】

【作用】本発明は比較的高い屈折率を有する対象物の内部の特徴を測定する光学的計測システムを具体化するものである。当該システムは対象物の内部の特徴を測定するために当該対象物の表面に結合された結像装置を用いる。結像装置は基板の屈折率とほぼ等しい屈折率を有する光学装置を含む。当該システムは結像装置を介して伝

播する光線に対象物内の高角度光線を結合するように構成される。

【0012】本発明の1つの特徴によれば、当該対象物は半導体ウエハであり光学装置は高角度光線を当該ウエハ内に結合することによりウエハの表面上の形状的特徴から反射する高角度光線を発生するように構成されるようなプリズムである。

【0013】本発明の他の特徴によれば、当該光学装置は基板からの高角度光線を空气中を伝播する光線に結合するように構成される比較的大きい開口数を有する平凸レンズである。光度的計測システムは平凸レンズを赤外線顕微鏡の対物レンズとして用いる。

【0014】本発明のさらに他の特徴によれば、光学装置は、当該装置を基板に密に近接させるように維持する空気支持手段によって基板の裏側に結合される。

【0015】本発明のさらに他の特徴によれば、光学装置は、少なくとも光の一部分が挫折したすべての内部反射を介して伝送されるような比較的屈折率の大きい材料を用いる基板の裏側に結合される。

【0016】

【実施例】

【0017】（概要）以下図面について、本発明の一実施例を詳述する。本発明は半導体ウエハを裏面から結像して計測するために用いられる光学装置を提案する。光学装置の主要な構成部品はレンズすなわちプリズムであり、プリズムは半導体材料の屈折率に近い屈折率を有する材料により形成される。この装置は高い角度から光線を入射できる手法により半導体ウエハに結合され、この高い角度からの光線（これを高角度光線又は高角度光波と呼ぶ）は通常半導体及び空気の境界面において反射され、空間に光線を射出するとき半導体ウエハから離れる。ある結合方法を用いると、レンズすなわちプリズムは当該ウエハ上の固定位置に保持される。しかしながら他の結合方法を用いると当該装置はウエハの裏面を横切るように移動することができる。

【0018】多数の光学装置はレンズを用いて形成される。この光学装置には明視野顕微鏡、共焦顕微鏡、シユリーレン顕微鏡、暗視野顕微鏡、リンニツク干渉計、ラマン分光器及び他の器械があり、これらの器械はウエハ計測において有用である。

【0019】以下においては半導体ウエハの検査に関して述べるが、これはガラス及び水のような比較的屈折率の高い他の材料の内部検査にも同様に適用できる。

【0020】（実施例の説明）光顕微鏡のラテラル方向の解像度 $\Delta x$ は真空中の動作波長 $\lambda_0$ 及びその開口数NAによって決定される。レンズの開口数NAは次の

(1)式

【0021】

【数1】

$$NA = n \sin \theta$$

により与えられる。ここで $n$ はレンズ材料の屈折率であり、 $\theta$ は入射光円錐の半角である。 $n$ が1の空气中又は真空内において、開口数は単位開口数以下に抑制され

$$\Delta x = \frac{\alpha \lambda_0}{NA}$$

により与えられる。ここで $\alpha$ は、システムの細部及び解像力に対する選択された正確な定義に依存し、0.2より大きく、通常は1.0以下である。約1.3 [ $\mu\text{m}$ ]に近い光波長に対しては、シリコン及びガリウム・ヒ素化合物はそれぞれ約3.5及び3.34の屈折率となる。かくして真空中において1.3 [ $\mu\text{m}$ ]の波長を有する光はこのような材料の内部では空気中の紫外線とほぼ等しい400 [ $\text{nm}$ ]以下の波長を有する。またインジウム・リン化合物、インジウム・アンチモン化合物、ガリウム・リン化合物及びゲルマニウムのような他の半導体材料は赤外線に近い比較的高い屈折率を有する。

【0023】このような材料のうちの1つから作られたレンズ内の高角度光線に対して光が結合されると、3又は4以上の開口数を得ることができる。(2)式におい

$$k = \frac{2\pi}{\lambda_0} ((3.5 \sin(66^\circ))^2 - 1)^{\frac{1}{2}}$$

..... (3)

によつて与えられる。この(3)式から、 $k$ はほぼ14.5 [ $\mu\text{m}^{-1}$ ]であり、レンズ及び当該ウエハの裏面間に1 [ $\mu\text{m}$ ]のギャップが存在するとき平面波のエネルギー密度は約 $1/10^{12}$ の割合で減少する。図3において、距離 $d$ がほぼ1 [ $\mu\text{m}$ ]であるとき、光波エネルギーは実質上全部が光波210Åのようにシリコン及び空気境界面から反射される。

【0026】しかしながら、図5のようにレンズの底部及びウエハの裏面間のエアギャップがほんの数ナノメートル

$$r = \frac{1+r^2}{1-r^2+i2\gamma\coth(ka)}$$

..... (4)

によつて与えられる。ここで $i$ は複素数 $(-1)^{1/2}$ であり、 $\gamma$ は次の(5)式

【0028】

【数5】

$$\gamma = (\sin^2(\theta) - (n_2/n_1))^{\frac{1}{2}}$$

..... (5)

によつて与えられ、 $a$ は2つのシリコン表面間のギャップの厚さであり、 $k$ は次の(6)式

【0029】

【数6】

$$k = \frac{2\pi}{\lambda_0} (n_1^2 \sin^2 \theta - n_2^2)^{\frac{1}{2}}$$

..... (6)

によつて与えられる。

【0030】入射角 $66^\circ$ かつエアギャップ50 [ $\text{nm}$ ]の場合

..... (1)

る。ラテラル方向の解像度 $\Delta x$ は次の(2)式

【0022】

【数2】

..... (2)

て説明したように、このことによりラテラル方向の解像度は0.4 [ $\mu\text{m}$ ]又はそれ以上に改善され、これによつてウエハの裏側からトレンチを検査する能力が大幅に改善される。

【0024】このシステムを使用する際に伴う困難さは高角度光線をシリコンウエハからレンズに結合することにある。この光波は空气中においては大きく減衰するものである。例えば、図3に示すようにシリコン及び空気の境界面の法線に対して $66^\circ$ の角度でレンズを通つて伝播する光線210は、 $e^{-k}$ として消滅する減衰光波212になる。ここで $k$ は次の(3)式

【0025】

【数3】

である場合、比較的多くの減衰光波がレンズからウエハ内に伝播する。入射角 $\theta$ の平行偏光平面波が2つのシリコン表面( $n_1=3.5$ )間の薄い平面状のエアギャップ(屈折率 $n_2=1$ )の厚さ $a$ と整合する場合(ここで $\theta$ は臨界角を越えている)、挫折したすべての内部反射のために反射係数 $r$ は、次の(4)式

【0027】

【数4】



合、これはエアギャップを通過する平面波エネルギーの反射率が6〔%〕すなわち透過率が94〔%〕であることに対応する。50〔nm〕以上にエアギャップを維持できたとき、優れた結合が生ずることを発明者は確認した。

【0031】図1及び図2に示すように、プリズムすなわち平凸レンズはウエハの裏面と密接なコンタクトを保持するとき、許容離間距離（すなわち50〔nm〕未満）を得ることができる。許容離間距離が得られるのは、製造時に用いられる半導体ウエハが非常に平滑だからである。図1に示す構成において使用されるプリズムを詳細に述べる。平凸レンズはいくつかの構成においては赤外線顕微鏡の対物レンズとして用いられる。光学装置をウエハに結合することに関する以下の記述は図2のレンズを適用した場合について述べるが、これは図1のプリズムを適用した場合にも同様に適用できる。

【0032】コンタクトレンズは、高角度光波がウエハから空气中に伝播するために比較的高い解像度を達成すること以外にも、次の利点を有する。レンズ及びウエハ間のコンタクトを緊密にすることにより干渉測定の際にノイズを加える振動を抑制する。さらにこのようにコンタクトを緊密にすることによりレンズ及びサンプル間の機械的なクリープ及びドリフトを十分に除去する。ほとんどのウエハの厚さを正確に知ることができるので、コンタクトレンズは当該ウエハから得た像の焦点合わせを容易にする。これに加えてこうした解決策は、屈折流体によつてウエハが汚染されるおそれをコンタクトレンズが除去するので、レンズ及びウエハ間の屈折率整合流体を用いること以上の利点を有する。

【0033】しかしながら、ウエハとコンタクトするレンズには2つの問題点が存在する。第1の問題点は、ウエハの表面又はレンズの平面が洗浄されていない場合、当該表面上の粒子はウエハの表面又はレンズの平面が洗浄されない限り当該レンズ及びウエハ間を離間させたままにするので、良好な光学結合が実現しない。さらにレンズ及びウエハ表面間のコンタクトを繰り返すと、摩擦により摩耗したり、レンズの平面に粒子を埋め込んだりすることにより当該レンズを損傷するおそれがある。この損傷が積み重なると、測定の質が次第に低下してレンズを使用できなくなる。

【0034】第2の問題点は、対物レンズがウエハ表面とコンタクトした状態になつているとき、顕微鏡を操作するのが難しい（すなわち通常の顕微鏡でなされるように、それを見ながらサンプルを移動させるように）ことである。一度コンタクトがなされると、レンズを容易に移動させることができないので、顕微鏡光学素子を比較的広い視野を与えるようにすることが望ましい。また、比較的大きいエアギャップを介して伝播する小角度光線から発生した低解像度像をコンタクトがなされる前に所望の位置に対物レンズを移動させるために用いるようにしても良い。この例においては、当該システムの開口数

(NA)を適切な値に低減するために当該レンズ上の絞りをを用いることが望ましい。

【0035】この2つの問題点は、対物レンズがウエハの表面とコンタクトせずに高角度光線を伝播することができる場合には緩和される。可視光顕微鏡において、単位開口数より大きい開口数を得るために液浸レンズが用いられることがある。この顕微鏡は屈折率整合流体（すなわち可融性固体）を用いることにより、空気及びガラスの境界面がなくても対物レンズの頂部から当該サンプルに連続的な光路を与える。

【0036】上述のようにこの対処法がシリコン対物レンズを用いる場合、流体は粒子が存在する場合でさえギャップなしに当該表面を適応させる傾向があるので、レンズの表面及びウエハが洗浄された状態における必要条件を緩和することができる。従来の可視光顕微鏡においては、屈折率整合流体はガラスレンズ及びカバースリップの屈折率を正確に整合するように選択される。従つて、当該レンズからのすべての光線は流体内の伝播光線となり、流体内からのすべての光線はレンズ内の伝播光線となる。界面反射はほとんど除去される。

【0037】2つの考慮すべき問題、すなわちサンプルの汚染回避は希望的なものであること及び赤外線に近い2.3以上の屈折率を有する便利な無害の流体がないことにより、この技術は上述のシリコン及びガリウム・ヒ素化合物レンズを用いることができなくなる。

【0038】しかしながら、半導体レンズに適用できる屈折率整合流体技術には2つのバリエーションがある。第1のバリエーションは、インジウム・アンチモン化合物のような容易に変形できる固体材料により対物レンズの平面を被覆することであり、インジウム・アンチモン化合物は赤外線に近い透明なもので3以上の屈折率を有する。シリコン内の高角度光線は光波を完全に伝播するか又は少し減衰させるような材料に良く結合する。レンズの平面及びウエハの裏表面間のギャップがこの型式の物質で充填される場合、コンタクト公差は十分に緩和され得る。レンズ又はサンプルに付着する小粒子は適切な圧力の下に自身を埋め込むことができ、その結果表面を離間させるようには分離させない。コーティングは何度も損傷を受けるが、コーティングを取り除いて新しいコーティングをすることによりレンズを新しくすることができる。

【0039】第2のバリエーションは、対物レンズの開口数を多少（例えば2.7に）低減させ、かつギャップ内に約2.3の屈折率を有する幾つかの屈折率整合流体又は可融性固体の1つを用いることである。この解決策を図4に示す。レンズの開口数は、例えば一段と高角度の光線を遮る対物レンズの頂部表面の上方に絞り216を挿入することによつて低減できる。好適な屈折率整合オイルは2.11の屈折率を有するJ812X-2.11型である。可融性固体屈折率整合材料は2.31の屈折率を有するJ833X-2.31

型式として入手できる。この材料は共にシリコンの屈折率と整合しないのでこれらは正しくは屈折率整合材料と呼ばれない。かくしてこの材料は「光結合材料」として後述する。

【0040】この技術が用いられた場合、当該境界面を通過する光は少し減衰する。しかしながら、赤外線の良い結合状態は流体の比較的薄い層だけをレンズ及びウエハ間に存在させるように機械的にレンズを配置することによって維持され得る。この技術を用いると、流体内の減衰光波は挫折したすべての内部反射を介して伝播する光波に変換される。これは、従来の屈折率整合顕微鏡において生ずるような光波の減衰が回避されるので、従来の屈折率整合技術とは基本的に異なることを表している。

【0041】好適な光結合材料を用いる垂直位置決め機構は、光結合流体を用いずにレンズ及びウエハ間の空気による分離を30〔nm〕ないし50〔nm〕に維持する位置決め機構よりも一段と大きい公差を配置誤差に対して呈する。

【0042】上述の光学結合材料に依存しない他の高公差位置決め機構を図6に示す。この機構は磁気ディスクの表面上を約50〔nm〕の高さで「飛ぶ」記録ヘッドを保持するために用いられると同様の空気支持手段を用いる。本発明のこの実施例に用いられる空気支持手段はレンズを含む組立体の底部とウエハの裏面との間の空間を30〔nm〕及び50〔nm〕に維持する。

【0043】好適な空気支持手段は当該レンズに物理的に付着した比較的薄いシリコンウエハ112Aを含む。この組立体は当該レンズの円周の周辺にあるダクト218に結合されるノズル220を有する。好適なダクトはベアリング組立体112Aの底部面の小ホール（図示せず）内において終端する。空気はノズル220に入って矢印222によって示される空気通路を進む。また、空気支持手段はレンズそれ自身の円周の周辺的位置にホール（図示せず）を掘るためのマイクロマシン技術を用いることによって図5に示す型式のレンズにおいて使用される。好適な空気支持手段の使用については「走査顕微鏡検査法技術及びその適用」内の「ナノメートル技術に導くシステムのための外部加圧ベアリング」SPIEプロセス、第897巻、144～153頁に詳細に示されており、これを参照する。

【0044】光学装置がウエハの裏面と密接にコンタクトした場合の2つの適用例を図1及び図2に示す。図1において、例えば反応イオンエッチング装置のウエハチャック内に組み合わされるシリコンプリズム130はシリコンウエハ110の裏面とコンタクトを保持する。当該ウエハ110は反応イオンエッチングによって形成されるトレンチ114を含む。赤外線光の光源132は例えば1.3〔 $\mu\text{m}$ 〕のレーザダイオードすなわち発光ダイオード（LED）であり、レンズ134を介して当該プ

リズム130のある面に向かう比較的狭小な赤外線光のビームを放射するように配置される。光の入射角は当該光のすべての内部反射がウエハの表面及びトレンチ壁の両方において生ずるように選択される。

【0045】3つの赤外線検出器136、138及び140は3つの異なる型式の反射光を集光するように配置される。赤外線検出器136はウエハの表面から反射された光を集光し、赤外線検出器138はプリズム及びウエハの境界面から反射された光を検出する。赤外線検出器140はトレンチ114壁から反射された光を受けるように配設される。

【0046】表面に形状的特徴がない場合、光源132によって与えられたすべての光はウエハ及びプリズムの境界面のうちウエハの表面から鏡のように反射される。この光はプリズム130の反対側の表面を介してそれぞれ赤外線検出器136及び138に現れる。しかしながら、トレンチ114すなわちトレンチのアレイがコーナレフレクタとして作用することにより第1のプリズム面及びレンズ134を介して赤外線検出器140に逆反射する光を生ずる。

【0047】トレンチ114は赤外線光の波長（シリコン内においては400〔nm〕）と比較すると深いので、コーナレフレクタの1プロットの強度は当該トレンチが一段と深くなるにつれてはつきりしたリプルを示さなくなる。焦点を合わせたビームの開口数はトレンチの空間によって生ずる干渉じまが平均化されるのに十分な大きさであるが、トレンチが不均一に照射されるような大きさにならないように選択される場合、反射信号の強度はトレンチの深さの単調な関数になる。

【0048】赤外線検出器136及び138によつて測定装置は適切に動作し、赤外線検出器140によつて与えられた信号を正規化する際に用いられる信号を与える。プリズム130及びウエハ110間のコンタクトが不十分である場合、通常以下の光エネルギーがウエハ及びプリズムの境界面を介して透過され、その結果赤外線検出器140からの標準信号より一段と小さいエネルギーとなる。しかしながらこの例においては、赤外線検出器138からの信号は標準信号より大きいエネルギーである。

【0049】赤外線検出器138からの信号は単純誤差インジケータすなわち制御信号として用いられることにより、不十分なコンタクトのために生ずる誤差を緩和するために赤外線検出器140からの信号に適用される補正率を決定する。

【0050】赤外線検出器136からの信号は赤外線検出器140からの信号に対する比較信号として扱われる。この2つの信号の比はトレンチコーナに正規化された反射率を与える。この信号は所望のトレンチの深さを示す赤外線検出器140及び138からの信号比に対するスレシヨルドを設定することによって、反応イオンエ

ツチング処理を制御する際に用いられる。測定された信号比がスレシヨルドを越える場合は反応イオンエツチング処理を停止する。

【0051】図2はシリコンウエハと密接にコンタクトするシリコン対物レンズ112の基本的な概念を示す。光線118はプリズム119を介して当該ウエハ内に結合され、臨界面角以上の角度でウエハに入る光は完全に内部に反射する。例えばコーナレフレクタの働きをするトレンチ114によつて反射された高角度光線はウエハ110から伝播することはできない。しかしながら、光線120がレンズ112に隣接して配置されるシリコンプリズム121によつてウエハ内に結合されるとき、トレンチ114からの光線120の反射はレンズ112によつて空気中に伝播する光線に変換される。

【0052】図2に示す構造は高い開口数NAをもつ赤外線顕微鏡の基礎として扱われる。しかしながら、この構造にはいくつかの欠点がある。第1の欠点は、レンズがウエハとコンタクトしているため、上述のように顕微鏡を操作することが難しいことである。第2の欠点は、レンズが望ましい状態で当該ウエハ表面に極く近接しているため、その焦点をほとんど変更することができないことである。

【0053】図7はウエハ検査の際に用いられる実際の明視野赤外線顕微鏡を示す。この顕微鏡においては、半球のシリコンレンズ112は複合レンズ310と結合することにより可変焦点レンズ構成312を形成する。レンズ構成312はウエハ110の表面上の光学結合流体214の薄い層上に浮いている。当該顕微鏡の焦点は従来のズームレンズ手法によりレンズ112に対して複合レンズ310の各要素の位置を変化させることによつて調整される。簡略化のため、複合レンズの各要素を調整する装置は図示しない。

【0054】図7において光源316はコリメータレンズ318に赤外線光を与える。コリメータレンズ318及び光源316は当該顕微鏡に対して照射機能を与えられる。当該明細書において「照射機能」の語はサンプルにおける実際の入射光領域を示す。これと関連する語は「結像機能」である。当該明細書において「結像機能」は、顕微鏡から得られる結像領域分配を明確にする。他の関連語は「ひとみ機能」である。当該明細書において「ひとみ機能」は顕微鏡のコヒーレント伝送機能である。これは当該顕微鏡のポイントスプレッド（インパルス）機能の2次元光学フーリエ変換である。顕微鏡のひとみ並びに対象物及び像平面間にはフーリエ変換の関係がある。ひとみ内の点光源は対象物及び像に平面波を発生するが、逆もある。ひとみ機能が当該サンプルの複合反射係数によつて増大する場合、その結果は当該像の光学フーリエ変換となる。

【0055】コリメータレンズ318からの光はビームスプリッタ320によつて部分的に反射されて可変焦点

レンズ312を介してウエハ110に向かう。ウエハの前表面から反射した光はビームスプリッタ320を通過して当該レンズシステム312の結像面にある従来の赤外線光検出器アレイ314に向かう。

【0056】図7に示す顕微鏡はいくつかの方法により修正することができる。第1は、複合レンズ310をメニスカスレンズ（図示せず）のような単一レンズと置き換えることができる。結合レンズの結合焦点は固定レンズ112に対してメニスカスレンズを移動させることによつて変更され得る。しかしながら、このレンズ結合は図7に示す可変焦点レンズ312と比較して像の質、領域の平滑さ及び視野において劣る。

【0057】明視野顕微鏡を用いると、光の大部分はウエハの頂部表面において完全に内部に反射される（すなわちレンズ112を介して逆に）。しかしながら、当該頂部表面の切れ目において光の十分な散乱がある。誘電体薄膜（例えば酸化物トレースすなわちホトレジスト）又はトレンチ壁のエッジにより頂部表面のシリコン及び空気の境界面を介して伝播し得る低角度の光波に高角度光線（通常は完全に内部に反射される）を十分に結合することができる。この切れ目は明視野像内においては暗く見える。

【0058】照射機能が高角度光線と共に低角度光線も含んでいる場合、誘電体薄膜はエッジに至るところでは一段と暗く見えるがエッジそのものの場所ではそうではない。これは、一段と屈折率の高い光が境界面を介して伝播することができるので生ずる。この光の多くは誘電体薄膜内の漏れ導波路モード内に結合されるので、結局リターンして顕微鏡によつて集光される。しかしながら、一部の光は空気中に散乱されて当該誘電体薄膜によつて被覆された領域内の結像を暗くする。

【0059】漏れ導波路モードからリターンする光及び鏡のように反射した光間の干渉は、干渉を回避するためのステップがとられない場合干渉じま及び他の結果を生ずる。金属反射鏡は入射光の一部を吸収するので暗く見える。トレンチは、焦点が合つていても合つていなくても種々に散乱した光成分間の干渉のために非常に複雑に見える。それにもかかわらず明視野顕微鏡はホトレジスト、酸化物及び他の誘電体薄膜の底部の幅を測定する際に非常に有用である。

【0060】明視野顕微鏡に関する比較的簡単なバリエーションは図8に示す共焦照度顕微鏡である。共焦照度顕微鏡の一般的な原理については米国特許第3013467号「顕微鏡検査法装置」に記載されており、ここでは共焦照度顕微鏡についての教示を参考にする。

【0061】図8に示す装置においては、光源316はレーザ410と置き換えられ、ピンホール418は走査された地点の像において単一光検出器420の前に配置される。当該顕微鏡の他の構成部品は図7と同一の構成である。

【0062】しかしながら顕微鏡の使用について1つ異なることがあり、それは出力が光の単一ビームであるので、当該顕微鏡はウエハを横切って走査されることにより像を現像する。ピンホール418並びに変焦点レンズ312及びビームスプリッタ320を介して反射したレーザの像との間の一直線の並びを維持するために、顕微鏡の構成部品は固定された位置に維持され、ウエハ110はその一直線の並びの下方位置を移動することにより走査動作を実行する。このように共焦顕微鏡はその一部の構成として論理的な方法によりx軸方向（ページを横切る方向）及びy軸方向（ページから出る方向）に沿って当該ウエハを移動させる位置決め装置（図示せず）を含む。各位置において光検出器420によって検出されかつ順次配列されたサンプルポイントは完全な像を形成する。

【0063】上述の明視野顕微鏡に対するこの対処法の主要な利点は、深さの判別（光学的区分）、斑点の低減及び薄い誘電体薄膜内の導波路効果の阻止を含むことである。深さの判別特性は当該サンプルの焦点ずれレベルに基づく光の無力から生じてピンホールを通過して検出器に向かう。この特性によりトレンチの深さ及び他のトレンチの特徴を測定することができる。實際上、この顕微鏡は他のレベルにおけるぼやけた像からの干渉なしに種々のレベルにおけるトレンチの断面像を得ることができる。

【0064】このモードにおいて深さを測定するのは比較的簡単である。各トレンチにおいて焦点はトレンチの頂部からその底部に移動する。各反射平面は焦点がそれを介して動くにつれて信号内に明確な最大点を生ずる。深さはトレンチ底部の前表面からウエハの前表面のz軸を除くことによつて得られる。

【0065】導波路阻止効果は、漏れ導波路モードからの放射光線が戻り光路上にあるピンホールから大きく外れるので、誘電体ラインの結像を改善する結果を生ずる。かくして反射光のこの成分が結像をぼかす原因にはならない。また頂部表面上の誘電体薄膜の測定はこの方法により改善される。異なる位相が異なる平面波成分全体の内部反射に変化を与えるために、誘電体薄膜は反射ビーム内に球面収差を導く。ひとみ機能が誘電体薄膜内を伝播できる光線成分もたないとき、結果の像が暗くなるのは当該誘電体薄膜の厚さとは無関係である。

【0066】明視野領域の共焦結像装置ばかりでなく、他の2つの型式の照度結像装置もコンタクト顕微鏡を用いることができる。これらには後述する図9のシュリーレン(Schlieren)顕微鏡、図10の暗視野顕微鏡及び図11の暗視野透過顕微鏡がある。この型式の顕微鏡においては、発光体及び対象物からの光はそれぞれの変換（ひとみ）平面においては異なる取り扱いを受け、このことは「透過」ひとみ機能及び「受像」ひとみ機能間を区別するのに有用である。透過ひとみ機能は照射機能の

フーリエ変換を含み、受像ひとみ機能は結像機能のフーリエ変換を含む。光学システムによつて2つのひとみ機能は同一の位置におくか又は異なる位置におく。

【0067】好適なシュリーレン顕微鏡を図4に示す。シュリーレンシステムは分離透過及び受像ひとみ機能（すなわち通常領域はない）を有するように構成される。一對のナイフエッジが空間フィルタとして用いられ、そのうち1つは透過ひとみ平面の一部をマスクしかつ他の1つは受像ひとみ平面の一部をマスクする。ナイフエッジはマスクされた各部分がほとんど重なり合う（明シュリーレン）か又は少し重なり合う（暗シュリーレン）ように配列される。検査された像は大部分が正空間周波数から負空間周波数にスキヤッタされる光から構成される。ナイフエッジがy軸と平行であるとする、正x軸方向から負x軸方向に変換された表面の平面にあるその光波ベクトルkをもつ光だけが検査される。

【0068】図9に示す装置は図7の装置に2つのナイフエッジ432及び434を加えたものである。ナイフエッジは矢印433及び435の方向に移動されることにより明シュリーレン又は暗シュリーレン方法による動作のいずれかを実行する。

【0069】顕微鏡の動作は光源316によつて発生された光線R1、R2及びR3により示される。図9に示すように、光線R1はナイフエッジ432によつて遮られるが光線R2及びR3はビームスプリッタ320に伝播することができる。ビームスプリッタ320から反射される成分の光線R2及びR3は種々の可変焦点レンズ組立体に入り、ウエハ110の表面から反射されて光線R2A及びR3Aとして出現する。さらに、例えばトレンチ壁からの反射によつて正空間周波数から負空間周波数にスキヤッタされた成分光線R2及びR3が発生される。この光線をR4によつて表す。

【0070】光線R2A、R3A及びR4はビームスプリッタ320を通過する。光線R3Aはナイフエッジ434によつて遮られるが光線R2A及びR4は光検出器アレイ314上に像を形成する。図示の構成は明シュリーレンモードである。ナイフエッジ432又は434の1つが移動して光線R2又は光線R2Aのいずれかを遮ったとき、当該装置は暗シュリーレンモードに構成される。

【0071】シュリーレンモードは、ウエハ頂部表面と整合するトレンチの側面がコーナレフレクタを形成し、x軸方向の後方の光を極めて効果的に走査するので特にトレンチ測定に適用される。

【0072】光源316及びレンズ318がレーザに置き換えられる場合、図8の共焦結像技術がシュリーレン顕微鏡により実行される。またこれは、例えばナイフエッジ434及び光検出器アレイ314間に配設されるレンズの焦点にピンホール（図示せず）から構成される空間フィルタを挿入することによつてなされる。当該像は

ウエハ110を走査することによって形成される。この構成はトレンチの深さを測定する際に非常に効果的である。動作時、顕微鏡がトレンチ114上に直接に配設される場合、当該像は、焦点がトレンチ底部を通って走査されるときほとんど完全に暗くなる。さらに、トレンチ側壁角は2つのナイフエッジのオーバーラップ機能として像照度を測定することによって直接に測定され得る。垂直な側壁は $K'_1 = -K_1$ のスキヤツタされた領域成分を発生する。ここで $K_1$ は入射平面波成分の横波ベクトルであり、 $K'_1$ は反射成分の横波ベクトルである。非垂直側壁の場合 $K'_1 + K_1$ は0ではない。このシフトはナイフエッジ432及び434のオーバーラップを変化させることによって測定される。

【0073】高い開口数NAをもつ顕微鏡を用いる暗視野結像は反射又は透過のいずれかによりなされる。暗視野顕微鏡検査法の背景にある基本的な概念は、照射機能から像内に鏡のように伝播する光がないように照射機能を選択することである。これは例えば第1のフィルタをもつひとみ機能を空間フィルタリング（透過ひとみ平面にマスクする）し、第2のフィルタをもつ像機能を空間フィルタリング（受像ひとみ平面にマスクする）することによってなされる。暗視野顕微鏡について、形状的特徴がないウエハから結像されたとき透過ひとみマスクを通過する光は受像ひとみマスクによって完全に遮られる。

【0074】反射暗視野顕微鏡検査法を実現する装置を図10に示す。この装置は透過ひとみマスク440及び受像ひとみマスク442がある点において図7の顕微鏡と異なる。図10に示すように、透過マスク440は光線R2だけを通し、光線R1及びR3を遮るピンホールである。光線R2はビームスプリッタ320に反射してその一部が可変焦点レンズ312に向かう。ウエハ110の前表面からの反射は光線R2Aとして鏡のように反射すると共に光線R4及びR5を散乱する。この光線はすべて可変焦点レンズ312及びビームスプリッタ320を通る。しかしながら、光線R2Aは受像ひとみマスク442によって遮られるので光検出器アレィ314に到達できない。光線R4及びR5はアレィ314に伝播して暗視野像を与える。

【0075】この構成において、形状的特徴がないサンプルは、光線R2のすべての成分が光線R2Aとして逆反射されるので完全な暗視野像を発生する。当該サンプルの前表面の切れ目は黒地上の明光のような像上に出現する。

【0076】関連する暗視野顕微鏡（図示せず）は、図10の透過ひとみマスク440及び受像ひとみマスク442が入れ換えられて図8のようにレーザが光源として用いられる場合に得られる。この結果得られた顕微鏡は平滑な垂直トレンチ壁から反射される光線を阻止する。この光線は、コーナレフレクタがトレンチ壁及びウエハ

の前表面により形成されるため、照射によって占有されたひとみの領域内に逆反射される。かくして、空間、ピンホール又はトレンチ内の汚染のようなトレンチ壁の不規則性は比較的暗い背景に明領域として出現する。さらに、マスク440はピンホールであり、当該サンプル上の1地点だけが照明されるのでこの好適な顕微鏡は共焦結像装置であり、かくして焦点ぼけ層すなわちウエハ表面上の誘電体薄膜の導波路伝播モードからの干渉の影響を受けない。共焦構成の他の利点は深さ判別である。上述のように焦点ぼけ層からの干渉を阻止するため、ウエハ内の形状的特徴の深さは可変焦点レンズ312をウエハ110の面と直交するライン上の異なる焦点に調節することによって得られる。

【0077】図11は好適な暗視野透過顕微鏡の側面図である。この装置の原理はウエハから空気中に伝播し得るすべての成分を排除する照射機能を選択することである。当該ウエハの頂部表面の外側に配設された検出器は頂部表面内の切れ目によって減衰光波から伝播モードにスキヤツタされる光だけを検出する。

【0078】図11に示すように、暗視野透過顕微鏡は、例えば光線R1、R2及びR3を発生する光源316及びコリメータレンズ318を含む。ひとみ平面の中央部分の光線R2及び他の光線はひとみマスク450によって遮られ、ひとみ平面の外側の光線R1及びR3だけが可変焦点レンズ312に伝播する。可変焦点レンズ312において、外側の光線R1及びR3は複合レンズ310によって高い開口数NAのレンズ112及び光学結合流体214を介してウエハ110内に結合される高角度光線に変換される。

【0079】ウエハ110の内側において、この光線は臨界角より大きい角度をもっているのですべての内部反射を受ける。光線458は、高角度光線が伝播光線に変換される場合、ウエハの頂部表面を介してレンズ452を通って光検出器454に伝播する。この変換は、例えば高角度光線がトレンチ114の壁のようなウエハ表面の切れ目から反射されるとき又はSiO<sub>2</sub>すなわちホトレジストのような誘電体薄膜456が非伝播光線を伝播光線にスキヤツタするとき生ずる。

【0080】ウエハの像は固定された位置に光源316、レンズ312及び検出器454を保持することによって得られると共に、ウエハはx軸方向（ページを横切る方向）及びy軸方向（ページから出る方向）の両方向に増分的に移動される。

【0081】上述のことは、従来の結像顕微鏡において高い開口数NAのレンズを1つの構成部品として利用する結像技術を得ることである。ウエハの表面から空気中に結合できる光が非常に小さいので、完全に内部で反射した光の位相及び偏光シフトに基づいた多くの測定技術を実行できる。一般的にヘロダイン及びホモダイン干渉計は共に光の位相を測定するために用いられる。干渉計

のいくつかの型式は後述の図12から図14を参照する。

【0082】干渉計は1ビーム、2ビーム及び多重ビームの3型式に分けることができる。1ビームシステムはゼルニケ(Zernike)及びコールーキノ(Corle-Kino)干渉計を含む。1ビームシステムにおいてはひとみ機能の一部が他の部分に対して位相シフトし、2つの領域から生ずる像はゼルニケシステムにおけるように総計して2乗するか又はコールーキノシステムにおけるように交流(AC)検出を用いて一緒に多重化する(ヘテロダインされた)かのいずれかである。

【0083】好適なコールーキノ干渉計(図示せず)は図8に示すような共焦点顕微鏡のひとみ平面にAC駆動位相プレートを配置することによって設けられる。コールーキノ干渉計を用いると、振幅及び位相を共に同時に測定することができる。この装置により単一ビーム位相でウエハの内部及びウエハとコンタクトする形状的特徴を感度よく結像することができる。この装置によって調整され得る位相シフトの範囲は比較的小さいので、焦点がかなり外れている像の形状的特徴を測定するには適切でない。単一ビーム干渉計を共に基礎に置くゼルニケ位相コントラストについての詳細は1980年発行、第6号「光学の原理」に記述されており、これを参照する。

【0084】高い開口数NAのレンズを有する好適な多重ビーム干渉計を発達させたものがフアブリーペロー干渉計である。この型式の干渉計(図示せず)は図2に示すレンズ112の曲面上に高反射膜を配置することによってできている。当該球面の曲率の中央部は当該ウエハの頂部表面の平面にある。従つて、コーティングされたレンズの裏面はウエハの表面をもつ球形共振器を形成する。キャビティの精密度は表面の反射率及びテスト中(かなりドープされた基板に対しては比較的大きい)のウエハの光学吸収に依存する。

【0085】振幅は共振器の精密度(高吸収であれば精密度は低く、高反射率の場合も精密度は低い)を測定することによって検知される。これは、例えば光源を変調する周波数及び反射した信号の対応する変化を測定する周波数によってなされる。固定した周波数偏移に対して、AC信号はキャビティの精密度に比例する。

【0086】ウエハからの反射による位相変化に対応して共振波長に変化が生じ、続いてウエハの表面の反射率に変化が生ずる。ベースバンド信号を用いる位相測定及び比較的高い変調周波数を用いる振幅測定を実行することにより2つの成分を分離することができる。

【0087】キャビティが所望の固体であるので、照射波長を同調することによって動作ポイントを調整する必要がある。これは、例えば発光体のような $1.3\text{ }\mu\text{m}$ のレーザダイオードを用いることによってなされる。レーザダイオードによって発生された当該光の波長はその駆動電流を変化させることによって調整することができ

る。レンズ又はビームはサンプル上に走査されるとき、形状の不規則性すなわちウエハ110の表面にある誘電体薄膜の屈折率の変化は反射における位相変化を生じさせ、キャビティの光学波長を変化させるので、キャビティの吸収を変化させる。レーザ波長がサーボコントロールされる場合、サーボ電圧は測定データとして使用される。または出力信号は光検出器(図示せず)により確認され、出力信号は全反射に比例する。

【0088】好適な2ビーム干渉計はマイケルソン(Michelson)、マッコーゼンダー(Mach-Zehnder)、リンニツク(Linnik)、ミロー(Mirau)、トイマングリーン(Twyman-Green)及びノマースキー(Nomarski)システムを含み、これらはすべて高NAレンズを用いるホモダイン及びヘテロダインバージョンにより実行され得る。簡略化のためリンニツク干渉計の2つのバージョン、すなわち図12及び図14についてだけ述べる。

【0089】図12は好適なリンニツク干渉計の側面図を示す。リンニツクシステムはマイケルソン2アーム干渉計であり、各アーム上のミラー(すなわちウエハ)の前に同一のレンズが配設される。高NAレンズシステムを実際に用いる際には、各アームは同一のレンズシステムを有し、基準アームは種々の厚さのウエハにより動作できるようにそのレンズシステムに結合された空きウエハを有する。

【0090】リンニツク干渉計はホモダインシステムか又はヘテロダインシステムのいずれかとして使用される。好適なヘテロダインの実施例を図12に示すと共に、修正ホモダインの実施例を図14に示すが詳細については後述する。

【0091】誘電体材料(例えば水、ガラス又はシリコン)の内部を動作する高NAシステムにおいて、誘電体の境界面から反射された像は位相シフトが全内部反射に対して生ずるので収差される。この位相シフトは、入射角が臨界角 $\theta_i = \theta_c$ からすれすれの $\theta_i = \pi/2$ に増大するにつれて0から $\pi$ ラジアンに変化する。収差の一部は顕微鏡の焦点をシフトさせることによって補償され得る。しかしながら残りの収差は当該顕微鏡によって発生された像の質をかなり低下させる。半導体検査の場合、結像システムの解像度をできる限り理想に近づけるようにするのが望ましい。従つて、この収差の誤差は大きな利益となる。この収差の例外的な形式のために従来のレンズ設計技術を用いて補正することは難しい。2ビームヘテロダイン干渉計として光学システムを設計する方法によってこの収差の影響をほとんど除去できる。この型式のシステムにおいては、サンプルビーム及び基準ビームは共にほとんど同一の環境下における全内部反射を経験する。従つて、この反射から生ずる位相シフトはヘテロダイン検出の際に2つのビームが混合されたときほとんど取り消される。

【0092】図12に示すシステムのように、レーザ4

10からの光は音響光学(AO)セル460を通過する。好適な実施例においては、AOセルは $\text{TeO}_2$ ブラッグ(Bragg)セルである。部分回折格子は音響信号源468によって与えられる音響信号に応答してAOセル460の内部に確立される。

【0093】この構成において、AOセル460は音響信号源によって与えられた信号の周波数によって決定される角度により入射光の一部を検出し、残りの反射しなかつた入射光を通す。通過した光の量は音響信号の強度に依存する。本発明の好適な実施例においては、音響信号源468からの信号は周波数60〔MHz〕から110〔MHz〕の範囲にあり、音響信号の強さは入射レーザビームの半分を偏向しかつ残りの半分を偏向せずに通過するように調整される。

【0094】AOセル460によって偏向された偏向ビームは前表面ミラー462によって反射されて光学結合流体214の層によってサンプルウエハ110の裏面に結合される可変焦点レンズ312に向かう。

【0095】AOセル460によって偏向されなかつたビームはミラー464によって反射されてレンズ312とほとんど同一の可変焦点レンズ312Aに向かう。可変焦点レンズ312Aは光学結合流体層214とほとんど同じ厚さ及び構成を有する結合流体層214Aによって基準ウエハ110Aの裏面に結合される。

【0096】サンプルウエハ110及び基準ウエハ110Aから反射した光は照射光が通つて来た光路と同じ光路に沿つて戻る。AOセル460に到達すると、基準ビームの一部は光検出器420に偏向され、サンプルビームの一部がAOセル460において偏向されずに通過して光検出器420に向かう。光検出器420において2つのビームが干渉してAC及びDC光電流成分を共に発生する。

【0097】AC光電流成分は反射サンプルビーム及び基準ビームのヘテロダイン結合の結果である。AOセルはその駆動信号の周波数によって周波数の偏向波をシフトしかつ光検出器420に対する各入射光波はAOセル460によって一度だけ偏向されるので、偏向したサンプルビーム及び基準ビーム間のうなり位相はサンプルウエハ及び基準ウエハの反射特性の差異によって生ずるビーム間の位相差とほぼ等しい。

【0098】図12に示すリンニツク干渉計はレーザ光の干渉性及び2地点の光学重畳のために、ピンホールはないが共焦システムであり、共に増加させてうなり信号を生ずる。これは矢印466によって示すようにAO偏向器460によって当該ウエハを横切るx軸方向に走査され、可変焦点レンズ312の下にサンプルウエハを物理的に移動させることによってy軸方向(ページから出る方向)に走査される。最後にレンズシステム312及び312Aの焦点はその最大点から最小点に移動されることによりz軸方向(ページの上下方向)にウエハを走

査をする。

【0099】図12に示すリンニツク干渉計はひとみのナイフエッジ及び図9について上述したような結像平面を加えることによってシユリーレンモードで用いられる。また当該干渉計は図10において上述したような暗視野モードに構成される。この2つのモードのいずれかにおいて、リンニツク干渉計はトレンチ側壁の角度、壁プロフィールと共にトレンチ壁すなわちバルク半導体内の介在物、ピンホール及び空間を測定する際に用いられる。トレンチの深さ(裏面からの高さ)は暗視野モード又は明視野モードのいずれかにより測定される。またリンニツク干渉はホトレジストの幅及び複合屈折率並びに誘電体薄膜及びウエハの前面間の境界面からのすべての内部反射に対する位相シフトを測定することによってウエハの表面上に堆積された他の誘電体の形状的特徴とを測定する際に用いられる。

【0100】上述のことに加えて、当該干渉計によって生成された信号は完全に新しいコントラストシステムを効果的に実現するという点においてデジタルフィルタリング機能から当該装置のコヒーレント伝達機能に変換されたことになる。フィルタリング技術は当該レンズシステムの開口数(空間周波数帯域幅)及び視野(実際のフィルタの長さを制限する)にだけ影響を受ける。この技術は1990年12月発行、第160巻、第3部、「ヘテロダイン干渉計及びデジタルフィルタリングを介した共焦顕微鏡の一般化」、245~264頁に記述されており、この技術の教示を当該明細書において参考にする。

【0101】図12に示す好適なリンニツク干渉計の構造及び動作は1984年10月発行、応用物理学第45巻、第8号、「位相応答走査光学顕微鏡」、846~848頁に記述されている位相応答走査光学顕微鏡の構造及び動作と同様であり、走査光学顕微鏡の設計において参考となる。

【0102】顕微鏡検査法及びインタフエロ検査法において用いられることに加えて、高NAレンズシステムは、トレンチ及びバイアスの近くのウエハのバルク及びウエハの頂部表面上に成長された(すなわち堆積された)薄膜内の応力誘導複屈折の測定を含む種々の偏光測定を実行する際に用いられる。また異方性特徴からスキヤッタされるためにGaAs及び他の第3/第5族化合物における空間的に解像されたエリブリエトリ、電子光学効果及び減極は高NAレンズシステムを用いて偏光を測定することによって決定される。

【0103】一般的に、この測定はかなり偏光した入射光波をもつ上述の結像装置すなわち干渉計を用いてなされ、アナライザを介して反射した光波すなわち伝送された光波を通りその後に出検される。

【0104】図13は偏光測定を実行するために修正された図7の上述した結像顕微鏡の側面図である。図13並びに図5、図6、図7及び図8間の唯一の相違点はレ



レンズ318及びビームスプリッタ320間に偏光器470を設けかつビームスプリッタ320及び光検出器アレイ314間にアナライザ472を設けてあることである。

【0105】50〔nm〕のギャップを介する光の伝送はその偏光に多少依存するので、全視野を覆うような背後照射を完全に阻止することはできない。かくして光検出器アレイ314によつて検出された像は不必要な像を含む。しかしながら、この不必要な像は焦点がかなり外れた平面（例えばレンズ及びウエハの境界面）から生ずる。従つてこの不必要な像は比較的ゆつくりと当該領域上を変化しさらに小さい焦点ぼけに影響を受けない。焦点ぼけは各平面波構成部分に対する異なる位相シフトに対応するが、相対的な強度にはほとんど変化はない。かくしてレンズ及びウエハの境界面から生ずる偏光信号は焦点ぼけについてそれほど急速には変化しない。

【0106】しかしながら強度を集中すべきなのは当該ウエハの比較的小さい領域である。従つて第1の像が強度誘導複屈折を含む焦点平面において結像されかつ第2の像が第1の像より多少焦点ぼけして結像された場合、バックグラウンド信号は第1の像から第2の像を減ずることによつて大部分取り消される。

【0107】電圧依存効果はAC電圧を用いて測定され従来のフィルタリング技術による大規模なDCバックグラウンド信号から分離される。従つて、第3/第5族化合物の電子光学効果の観察はレンズ及びウエハの境界面において生ずる偏光シフトによつて妨げられない。

【0108】図14は偏光を測定するように構成されたホモダイニンクニック干渉計の側面図である。この構成において、レーザ410からの光は偏光器470を通過してビームスプリッタ480に向かう。ビームスプリッタ480は当該光をほぼ等しい2つの成分に分け、1つはサンプルウエハ110に結合する可変焦点レンズ312に向かい、他の1つはミラー464に向かいその後基準ウエハ110Aに結合する可変焦点レンズ312Aに向かう。サンプルウエハ110から反射した光の半分はビームスプリッタ480を通過してアナライザ472を通つて光検出器420に向かう。サンプルウエハから反射した残りの光はビームスプリッタ480により偏向されてアナライザ472を介して光検出器420のほぼ同じ地点に向かう。

【0109】またアナライザ472が除去されてビームスプリッタ480及びミラー464間に配設されたアナライザ474に置き換えても良い。このアナライザ474は基準ビームだけについて動作する。しかしながら分析された基準ビームが反射したサンプルビームと結合されるとき、通常の偏光構成要素は例えば異なる周波数によりビームを裁断することによつて取り消すことができ、合計差周波数において生ずる信号はレンズ及びウエハの各境界面における偏光の相違がプラスであるサン

プルウエハによつて生ずる偏光効果の測定の結果である。

【0110】また高NAレンズシステムは分光測定をする際に有用である。この測定を実行する2つのシステムについては後述する。図15はラマン分光処理を実行するための好適な装置を示し、図16は吸収分光処理を実行するための好適な装置を示す。

【0111】ラマン分光装置は材料の強度、バルクシリコンすなわち表面上の汚染材料を検出するか又はトレンチ内の残留処理流体を検出する際に用いられる。ラマン分光処理は直線効果があるが、これは波長をシフトする必要があるので空間的に解像された3次元モードによりなされる。

【0112】図15はラマン分光処理を実行するとき用いる際に適した好適な装置である。レーザ410は、それがシリコンウエハにおいて伝播ビームになるように臨界角以下の角度でウエハ110を照射するように構成される。例えば当該ビームがトレンチ114のうちの1つに残留処理流体を遭遇させるとき、流体のラマンスペクトルが発生される。周知のように、このスペクトルは照射ビームに対して90°の角度が最適な視界である。従つて可変焦点レンズ312、ピンホール418及び分光計480は、空間に反射したレーザビームに対して90°のスキヤッタされた光の成分が当該分光計に移動するように発光体に対して配列される。

【0113】ラマン分光計の考えられる2つの構成を図15に示す。第1の好適な構成においては、照射はレーザ410及びミラー320によつて与えられる。ビームは可変焦点レンズ312を通過してウエハ110に向かう。当該ビームはトレンチ内の流体により鏡のように反射する。鏡のように反射した光に対して90°の角度である光線は可変焦点レンズ312を通つて伝播ビーム484になる。このビームはピンホール418を通過して分光計に向かう。

【0114】第2の好適な実施例において、レーザ410Aからのビームがプリズム482を介してウエハに結合される。このビームはトレンチ114A内の流体により鏡のように反射して伝播ビーム484Aが発生する。分光計480及びピンホール418は望ましくは図示の位置から右側に移動してビーム484Aを検出する。

【0115】高NAレンズ112によりトレンチを照射することによつて発生された光がウエハ110の裏面を介して伝播することができる。レンズ112がなくてもラマンラインを含む光の要素は当該ウエハ110によつて全く内部に反射され得る。

【0116】図16は高い開口数NAのレンズ112を組み合わせた好適な吸収分光計の側面図である。図16に示す装置において、周波数 $f_0$ の光源492を有する赤外線光は周波数 $f_0$ の変調器494を有する正弦波の被変調振幅である。光源492からの光はウエハ110を正面側から均一に照射するように構成されている。図



8に示すような共焦顕微鏡が当該ウエハ110の裏面に結合される。レーザ410の周波数 $f_1$ は周波数 $f_0$ とはかなり異なるように選択される。最後にフィルタ490がピンホール418及び光検出器420間に配置される。フィルタ490は周波数 $f_0$ に近い周波数を有する光をほとんど除去すると共に周波数 $f_1$ に近い周波数を有する光を通過させる。

【0117】動作時、ドーパされたシリコンの領域496が光源492及びレーザ410の両方によつて照射されたとき、非直線吸収効果により当該レーザの光が信号 $f_1$ により変調される。ウエハ110の裏面を覆うレンズシステム312を走査し(レンズシステム312の下にページを横切るとにかくページからはみ出すようにウエハを移動させることによつて)かつその最小点から最大点にレンズ312の焦点を移動させることによつて、すべての非直線吸収効果を示す3次元マップが生成される。

【0118】これまで述べてきたことは、高い開口数NAのレンズ112を用いて製造できる可変光学装置に焦点を当ててきた。図17は種々の処理ステップ中にウエハを保持するように通常用いられるような従来のウエハチャックにレンズシステム312をいかに組み合わせるかを示す平面図であり、図18は図17を線X-Xにおいて破断して示す断面図である。

【0119】ウエハチャック510は、それが中央に開けられているという点において現在のチャックとは異なる。中央開口部はウエハ110の裏面上に露出領域を与える。当該ウエハがチャック上に実装されるとき、ウエハ及びチャックはレンズ組立体312に対して相対的に移動することにより上述の装置を操作する。また、例えば反応イオンエッチング処理中、ウエハを固定した位置に維持しなければならないとき、エッチングされたトレレンチの深さを判定するために顕微鏡が必要となり、レンズ組立体をこの開口内部のウエハの下方周辺に移動させる。

【0120】静電ウエハチャックの実施に関する詳細については、1973年10月発行、第44巻、第10号、「電子ビームマイクロ製造のための静電ウエハチャック」、1506~1509頁に記載されており、静電ウエハチャックに関する教示を当該明細書において参考とする。

【0121】簡略して述べると、静電ウエハはウエハの異なる部分に異なる極性の静電位を適用することによつてウエハを適切な位置に維持する。この例においては、電位の1つはウエハ110及びチャックの本体510間の境界面を介して適用される。他の電位は挿入部514を介してチャック本体に適用される。静電位はチャック本体周辺の種々の地点においてチャック本体510を介して延びるように接続部516により挿入部514に供給される。接続部516はチャックの裏側の電極515に挿入部514を接合する。

【0122】好適な光学装置は光学結合材料を用いることにより高NAレンズ112をウエハ110の裏面に結合するが、他のいかなる方法(すなわち直接コンタクト、軟インデックス整合固体すなわち空気支持手段)を用いても光学材料の代わりに上述の図3~図6のような材料を用いて当該レンズをウエハに結合することができる。

【0123】上述においては、レンズ112を半球平凸レンズとして述べたが、他の整形されたレンズを用いてもよい。例えば半球よりわずかに小さいレンズは、それがウエハ110の裏面近くにだけレンズ112の焦点を置くので、ある装置に対しては特に有利である。

【0124】上述の通り本発明をその最適な実施例に基づいて特定的に図示、説明したが、本発明の精神及び範囲から脱することなく形式及び詳細構成の双方について種々の変更を加えてもよい。

#### 【0125】

【発明の効果】上述のように本発明によれば、検査対象の屈折率とほぼ等しい屈折率を有する光学的整合手段を、臨界角以上の入射角度を有する光学的結合手段を介して検査対象の表面に結合するようにしたことにより、検査対象の内部の微細な特徴を簡易かつ確実に検査することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】図1は本発明による計測装置を示す側面図である。

【図2】図2は本発明による計測装置を示す側面図である。

【図3】図3は図2に示す装置の他の実施例を示す側面図である。

【図4】図4は図2に示す装置の他の実施例を示す側面図である。

【図5】図5は図2に示す装置の他の実施例を示す側面図である。

【図6】図6は図2に示す装置の他の実施例を示す側面図である。

【図7】図7は図2に示す装置を含む赤外線顕微鏡を示す側面図である。

【図8】図8は図2に示す装置を基礎にする光学装置の一部をブロック図として示す側面図である。

【図9】図9は図2に示す装置を基礎にする光学装置の一部をブロック図として示す側面図である。

【図10】図10は図2に示す装置を基礎にする光学装置の一部をブロック図として示す側面図である。

【図11】図11は図2に示す装置を基礎にする光学装置の一部をブロック図として示す側面図である。

【図12】図12は図2に示す装置を基礎にする光学装置の一部をブロック図として示す側面図である。

【図13】図13は図2に示す装置を基礎にする光学装置の一部をブロック図として示す側面図である。

【図14】図14は図2に示す装置を基礎にする光学装置の一部をブロック図として示す側面図である。

【図15】図15は図2に示す装置を基礎にする光学装置の一部をブロック図として示す側面図である。

【図16】図16は図2に示す装置を基礎にする光学装置の一部をブロック図として示す側面図である。

【図17】図17は図1～図16に示す光学装置を用いた好適な構成を示す半導体ウエハ及びウエハチャックを示す平面図である。

【図18】図18は図1～図16に示す光学装置を用いた好適な構成を示す半導体ウエハ及びウエハチャックを示す断面図である。

【符号の説明】

110、110A……シリコンウエハ、112、112A……対物レンズ、114、114A……トレンチ、118、120、458……光線、119、482……プ

リズム、121、130……シリコンプリズム、132、316、492……光源、134……レンズ、136、138、140、420、454……赤外線検出器、214、214A……光学結合流体層、218……絞り、220……ノズル、222……バス、310……複合レンズ、312、312A……可変焦点レンズ、318……コリメータレンズ、320、480……ビームスプリッタ、410、410A……レーザ、418……ピンホール、432、434……ナイフエッジ、440……透過ひとみマスク、442……受像ひとみマスク、456……誘電体薄膜、460……音響光学(AO)セル、462、464……ミラー、470……偏光器、472、474……アナライザ、484、484A……伝播ビーム、490……フィルタ、496……ドープされた領域、510……ウエハチャック、514……挿入部、515……電極、516……接続部。

【図1】

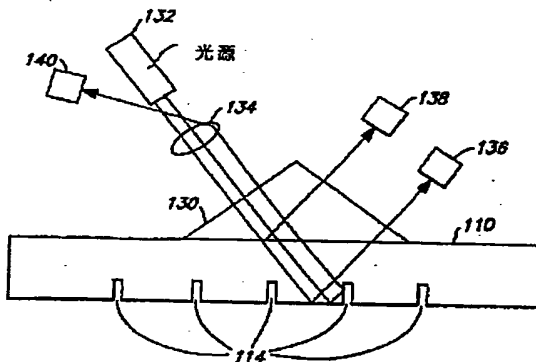


図1 本発明による計測装置

【図2】

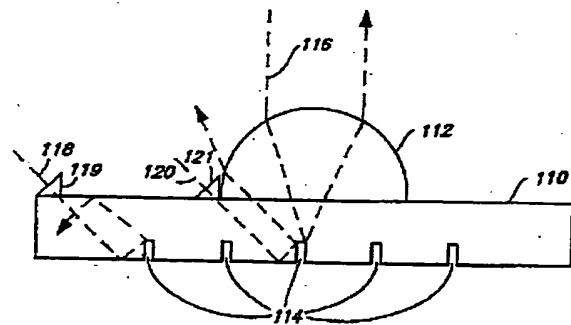


図2 高い開口数NAの赤外線顕微鏡

【図3】

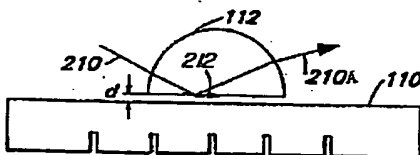


図3 図2の装置の他の実施例

【図4】

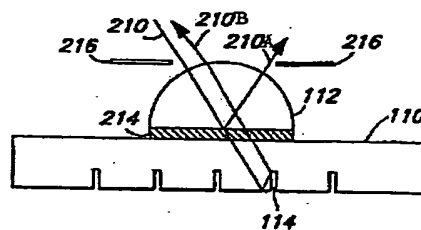


図4 シュリーレン顕微鏡

【図5】

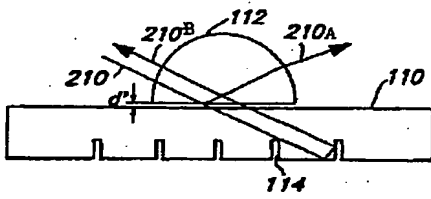


図5 図2の装置の他の実施例

【図6】

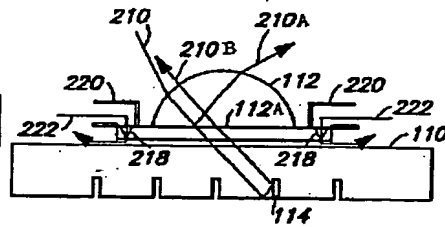


図6 高公差位置決め機構

【図7】

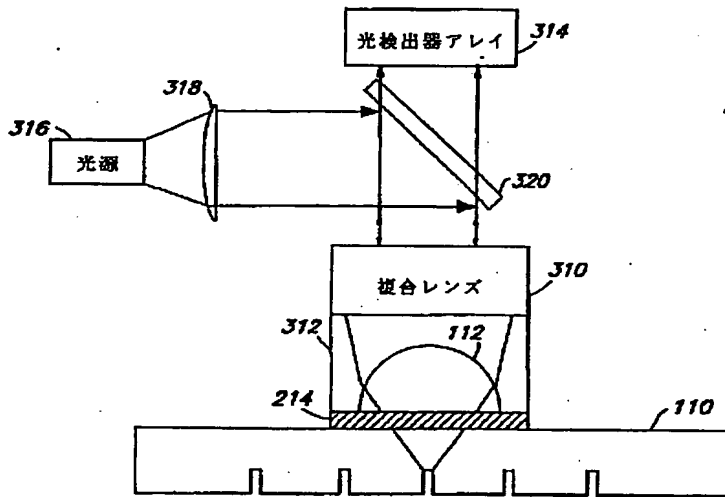


図7 明視野赤外線顕微鏡

【図11】

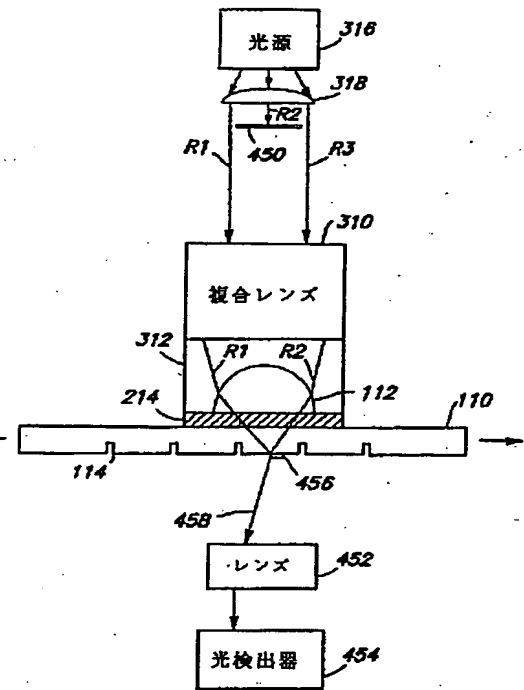


図11 暗視野透過顕微鏡

【図17】

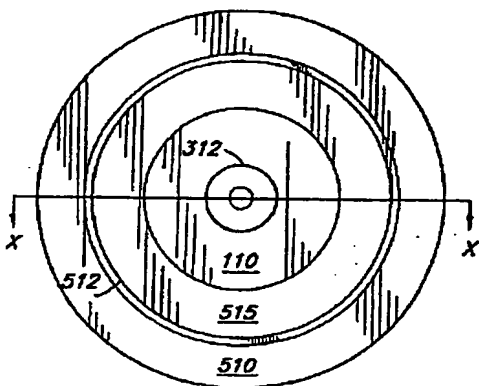


図17 ウエハチップの平面図

【図18】

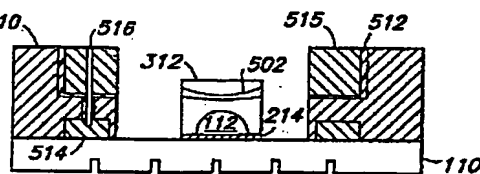


図18 図17のX-X断面図

【図8】

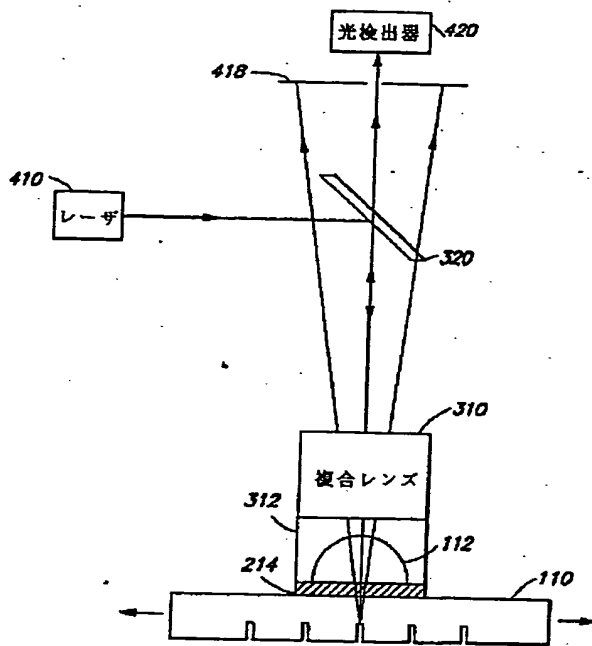


図8 共焦顕微鏡

【図9】

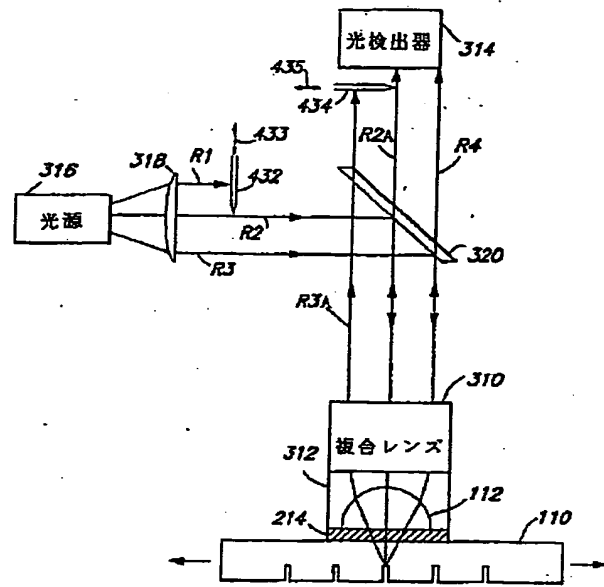


図9 シュリーレン顕微鏡

【図10】

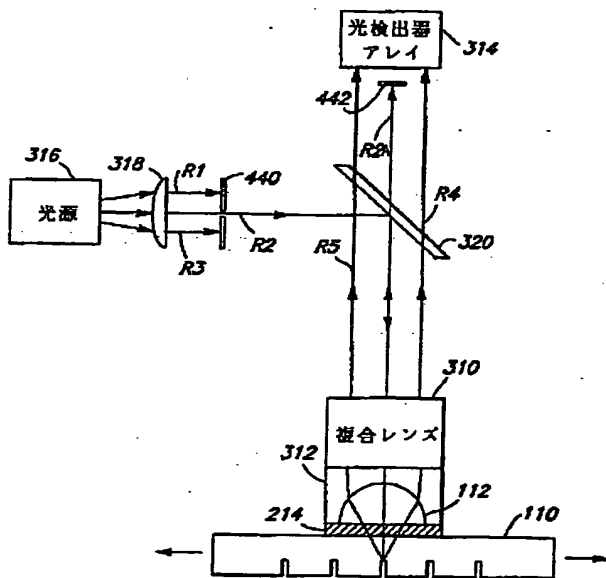


図10 暗視野顕微鏡

【図13】

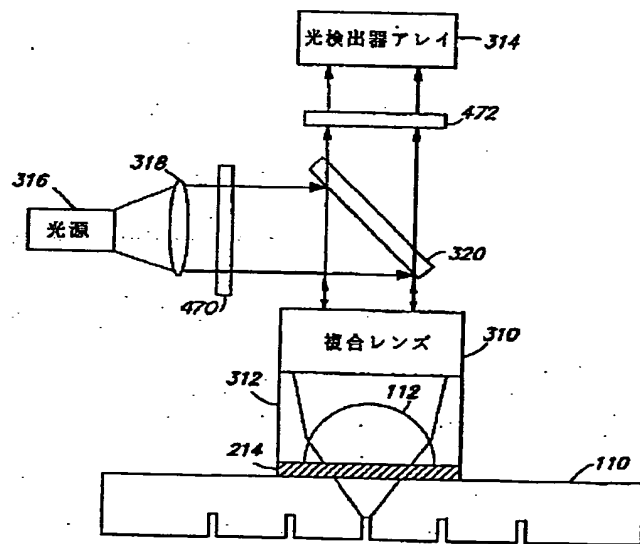


図13 図7を修正した明視野赤外線顕微鏡

【図12】

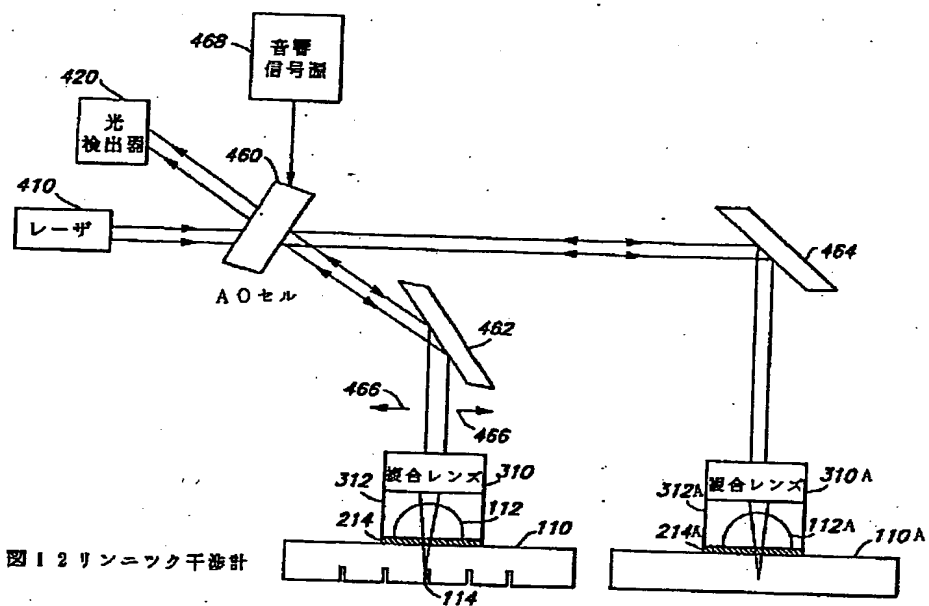


図12 リンニツク干渉計

【図14】

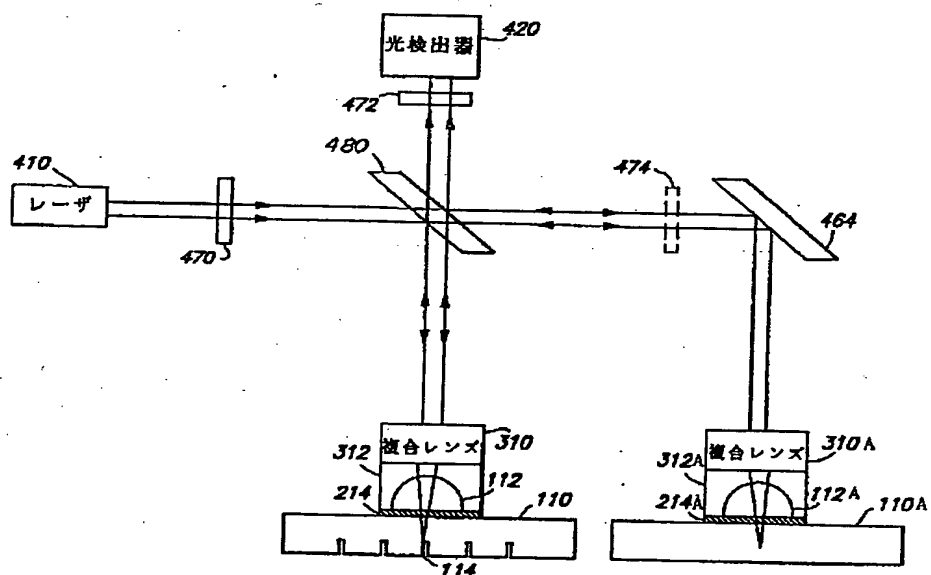


図14 ホモダインリンニツク干渉計

【図15】

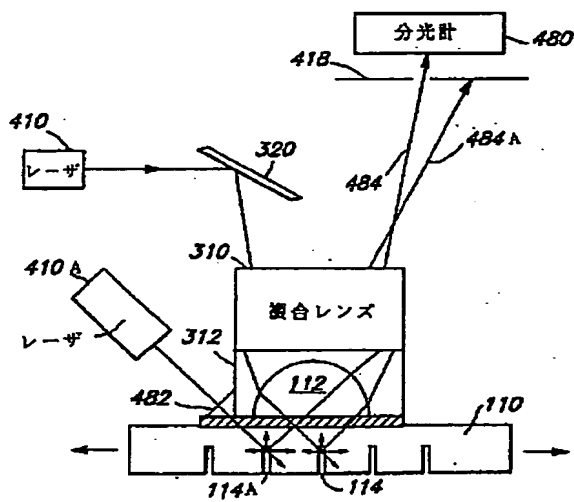


図15 ラマン分光計

【図16】

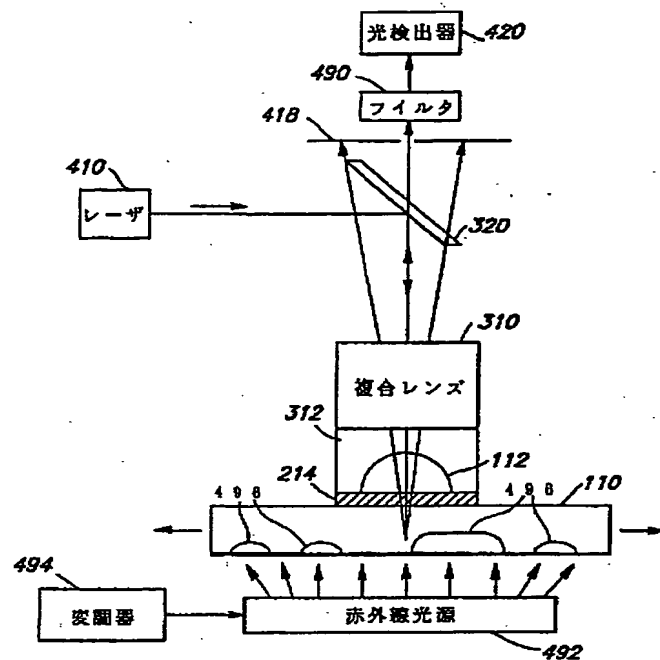


図16 吸収分光計

フロントページの続き

(72)発明者 フィリップ・チャールズ・ダンビー・ホ  
ップズ  
アメリカ合衆国、ニューヨーク州10510、  
ブリアクリフ・マノー、オーチャード・ロ  
ード 55番地

(72)発明者 マック・アラン・タウベンブラット  
アメリカ合衆国、ニューヨーク州10570、  
プレザントビル、リランド・アベニュー  
67番地